



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 208 077**

⑫ Número de solicitud: 200201088

⑤① Int. Cl.⁷: **G02B 5/18**
G02C 7/02

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **13.05.2002**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **01.06.2004**

⑫④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.06.2004

⑦① Solicitante/s: **Universidad de Cantabria**
Avda. de Los Castros s/n
39005 Santander, Cantabria, ES

⑦② Inventor/es: **Pérez Cagigal, Manuel y**
Valle Herrero, Pedro José

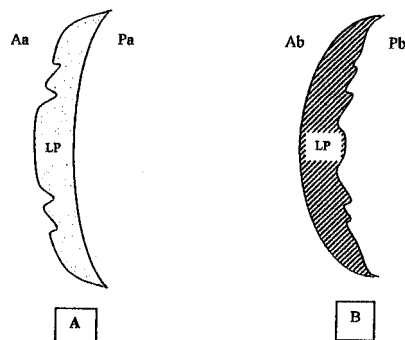
⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Elemento difractivo multifocal y método de fabricación.**

⑤⑦ Resumen:

Elemento difractivo multifocal y método de fabricación, esta invención concierne al diseño de dispositivos ópticos multifocales, como son lentes y espejos multifocales, y específicamente a lentes de contacto y lentes intraoculares multifocales.

El elemento difractivo multifocal propuesto se caracteriza por la utilización de un perfil de fase descrito por una función coseno cuyo argumento determina la distancia entre focos. El reparto de energía entre focos depende de la amplitud del perfil.



ES 2 208 077 A1

DESCRIPCIÓN

Elemento difractivo multifocal y método de fabricación.

Objeto de la invención

La invención concierne al diseño de dispositivos ópticos multifocales, más concretamente, a lentes y espejos difractivos multifocales y específicamente a lentes de contacto y lentes intraoculares multifocales.

Antecedentes

Las primeras lentes multifocales conocidas en las que la propiedad multifocal se distribuye por toda la lente son las lentes de Fresnel en la forma descrita, por ejemplo, por H. Rühle en U.S. Pat. No. 3.004.470. Estas lentes consisten en un conjunto de zonas anulares concéntricas cuyas superficies son parte de dos o más lentes refractivas convencionales cuyas potencias se desean combinar. Las zonas se disponen en una secuencia alterna de una y otra lente y las anchuras de las zonas individuales no se especifican en general. El problema principal de este diseño aparece cuando las zonas deben construirse de anchuras muy pequeñas como ocurre por ejemplo en las lentes de contacto o lentes intraoculares. En este caso los efectos de difracción impiden la formación óptima de los focos múltiples.

Otro tipo de lentes multifocales son las lentes difractivas. El origen de los múltiples focos en las lentes difractivas se explica dentro de la Teoría Difraccional de la propagación de la luz. La Teoría de la Difracción es especialmente útil en el caso de la propagación a través de aberturas. La abertura puede ser una región vacía definida simplemente por su contorno o puede ser una región de material óptico de grosor variable y/o índice de refracción variable, que producirá cambios de fase diferentes en diferentes zonas del frente de onda incidente. En cualquier caso, la luz que pasa por la abertura se dice que sufre difracción.

Un dispositivo óptico difraccional bien conocido es la placa zonal. Este consiste en una abertura circular dividida en anillos concéntricos cuyos radios vienen determinados según la relación $r_n = \sqrt{nf\lambda}$, donde λ es la longitud de onda de la luz, f es la distancia focal y $n=1,2,3,\dots$. Las zonas anulares así producidas se llaman zonas semiperiódicas, y la diferencia de camino óptico entre dos zonas consecutivas desde la placa zonal al punto en el eje perpendicular a distancia f es de $\lambda/2$. Si las zonas anulares se numeran consecutivamente 1, 2, 3, ... de dentro a fuera, la característica esencial de la placa zonal reside en que parte de la luz incidente (perpendicularmente a la abertura) que pasa por las zonas impares focaliza en fase en el punto del eje a distancia f de la placa zonal. De forma similar la luz que atraviesa las zonas pares focaliza en fase a la misma distancia f . Por supuesto, la luz que pasa por las zonas impares está en oposición de fase con la de las zonas pares, con lo que no se produce una focalización efectiva en ese punto. Se han construido placas zonales haciendo las zonas pares (o impares) opacas al paso de la luz, consiguiendo de esta manera la focalización efectiva de parte de la luz incidente. Mejor aún, las placas zonales de fase se pueden construir de manera que se produzca un salto de fase (de π) en las zonas pares (o impares) consiguiendo que toda la luz esté en fase en el punto a distancia f .

El salto de fase entre zonas puede realizarse bien por cambios en el perfil de la superficie, del índice de refracción o de ambos. Una propiedad importante

de las placas zonales es que existen múltiples puntos del eje donde se produce concentración de luz (focos). Los dos focos principales concentran cada uno aproximadamente el 40% de la energía incidente. Estos son el foco situado a distancia f y el foco situado a distancia $-f$ (foco virtual). La placa zonal se comporta por tanto como una lente bifocal o de doble potencia, negativa y positiva.

En una lente refractiva usual la potencia viene determinada por los radios de curvatura de las dos superficies, el espesor y el índice de refracción del material. Cuando una placa zonal se coloca sobre una lente refractiva (lente soporte o lente de base), las potencias de la placa zonal se suma a la potencia refractiva, pudiéndose obtener dos focales positivas. Este es el caso de las lentes de contacto diseñadas por A. L. Cohen (U.S. Pat. No. 4.210.391, 4.338.005, 4.881.804, 5.121.979, 5.121.980 y 5.114.483). Las lentes tipo Cohen utilizan el diseño de las placas de fase zonales de zonas anulares concéntricas cuyos radios son proporcionales a \sqrt{n} y cuyos perfiles se tallan de manera que dirijan la luz a más de un punto focal. Un inconveniente importante en este tipo de lentes son los escalones o aristas que se producen entre dos zonas contiguas. Cuando se trata de lentes de contacto, las aristas pueden dificultar la libre circulación y renovación de la lágrima, atrapar la suciedad en las esquinas e impedir una limpieza eficaz.

Descripción de la invención

El propósito de una lente multifocal es aumentar el número de focos a los que convergerá un haz de luz incidente. Este propósito ya ha sido conseguido de formas diferentes aunque los resultados obtenidos han presentado limitaciones como las siguientes: la cantidad de energía no concentrada en los focos (luz difusa) era elevada, el número de focos posible reducido y el reparto de energía entre focos era desigual. La presente invención proporciona la posibilidad de seleccionar el número de focos disponibles, presenta un reparto equilibrado de energía entre ellos y proporciona una elevada energía en cada foco. La invención consiste en dotar a una superficie dióptrica de un perfil que produzca, por difracción, la concentración de luz en más de un foco como muestra la figura 1. El perfil propuesto tiene simetría de revolución entorno a un eje que, en el caso de que la superficie dióptrica pertenezca a una lente, coincidirá con el eje óptico de la lente. La forma del perfil es una función coseno cuyo argumento es múltiplo del cuadrado de la distancia del punto al eje de simetría como se observa en la figura 2. Este perfil presenta la ventaja adicional de poder ser implementado sobre un sustrato plano o sobre uno curvo. En caso de utilizar dos superficies dióptricas para formar una lente, el perfil puede afectar a la superficie anterior o a la posterior como muestra la figura 3. En la figura 3 se observa que el perfil de fase requerido se obtiene mediante la modulación del espesor del sustrato o de la lente. Sin embargo, es posible mantener la forma inicial de la lente con sólo utilizar dos materiales con índices diferentes de forma que la superficie de separación entre ellos presente la función coseno anteriormente mencionada, como muestra la figura 4. Un resultado equivalente se obtiene cuando se produce una variación radial del índice de refracción de la lente o sustrato según una función coseno.

La separación entre focos se modifica con solo variar el periodo (a) de la función cosenoidal que deter-

mina el perfil, mientras que el número de focos y el reparto de energía entre focos se consigue modulando la amplitud del coseno mediante el factor **b**. Por ejemplo, un perfil del tipo $\cos(2 \pi ar^2)/b$ proporciona un conjunto de tres focos de forma que cada foco contiene el 30% de la energía total incidente cuando **a**=1 y **b**=8 para una longitud de onda de $0.55 \mu\text{m}$.

Otro aspecto importante es que el haz incidente puede cubrir por completo, o no, la superficie del perfil de fase sin que los resultados de posición y número de focos se vean modificados (figura 5). Este resultado es particularmente interesante en sistemas en los que el diafragmado evoluciona sin control externo como, por ejemplo, en el ojo humano.

Al contrario de lo que ocurre con las lentes zonales este perfil cosenoidal es continuo, evitando los saltos de fase que aparecen en las lentes zonales. Esto hace que su construcción sea más sencilla al tiempo que, cuando se utilizan como lentillas, permite una renovación de la lágrima de forma más completa. Por último, este perfil cosenoidal, como no presenta aristas, es más seguro cuando se coloca en la superficie posterior de una lentilla ya que no daña la cornea.

Descripción de las figuras

Figura 1.- Sección vertical de un perfil cosenoidal correspondiente a la cara posterior de la lente. Se observa la multiplicidad de focos (f_1, f_2, f_3). Existe una simetría de revolución respecto de un eje, que en caso de que el perfil sea soportado por una lente o lentilla, coincidirá con el eje óptico de la misma.

Figura 2.- El perfil sigue una función de tipo coseno cuyo argumento es múltiplo de r^2 . En la figura se observa la distribución del perfil en función de r y de r^2 . También se muestra la distribución del perfil sobre la superficie de revolución. La altura del perfil dependerá del número de focos y la distribución de energía entre ellos que se desee.

Figura 3.- El perfil cosenoidal puede afectar a la cara anterior o a la posterior de la lentilla produciendo en ambos casos el efecto de multiplicidad de focos.

Figura 4.- El perfil cosenoidal puede afectar a la superficie interior de la lentilla con tal que esa superficie separe dos partes con índices de refracción dife-

rentes.

Figura 5.- El número y posición de los focos no depende de la superficie iluminada por el haz incidente. En la figura se muestra como para dos haces incidentes de tamaño diferente se obtiene el mismo número de máximos y en las mismas posiciones.

Realización preferente de la invención

En la figura 3 se muestra una posible realización de la invención. La figura 3A muestra cómo el perfil de fase se ha dispuesto sobre la superficie anterior Aa de la lente portadora LP. La figura 3B muestra cómo el perfil de fase se ha dispuesto sobre la superficie posterior Pb de la lente portadora LP. El comportamiento de la lente portadora está determinado por los radios de curvatura de la superficie anterior y posterior, el índice de refracción y la distancia entre ambas superficies. La lente portadora puede ser convergente, divergente, tórica o plana, puede estar realizada en cualquier material que permita el paso de la luz y puede tener cualquier radio y tamaño de acuerdo con la aplicación final para la que se diseñe el sistema.

El procedimiento seguido para producir un perfil de fase en una superficie de la lente portadora puede ser de diferente naturaleza. El más sencillo es producir una variación adicional del espesor de la lente utilizando un procedimiento de grabado del perfil en una de las caras. En algunos casos, se puede reproducir el perfil mediante una modificación del índice de refracción mediante implantación de iones.

Aunque perfiles de fase descritos por productos y/o sumas de cosenos, de senos y cosenos, potencias de senos o cosenos, etc., producen buenos resultados, en la realización preferente se propone el perfil de fase tipo coseno por ser el más sencillo.

La amplitud de la modulación de fase depende del número de focos y del reparto de energía entre focos que se persiga. Depende pues de la aplicación. En el caso de sistema trifocal con tres focos de igual energía se tendría que utilizar una amplitud de modulación equivalente a aproximadamente un cuarto de longitud de onda, lo que supone una diferencia de fase entre máximo y mínimo de π radianes.

REIVINDICACIONES

1. Elemento difractivo multifocal y método de fabricación **caracterizado** por la utilización de un perfil de fase descrito por una función coseno cuyo argumento es proporcional al radio cuadrado, la distancia entre focos viene determinada por la constante de proporcionalidad, y el reparto de energía entre focos por la amplitud del perfil.

2. Elemento difractivo multifocal y método de fabricación que, de acuerdo con la reivindicación 1, se utilice para construir una lente oftálmica multifocal.

3. Elemento difractivo multifocal y método de fabricación que, de acuerdo con la reivindicación 1, se

utilice para construir una lente de contacto multifocal.

4. Elemento difractivo multifocal y método de fabricación que, de acuerdo con la reivindicación 1, se utilice para construir una lente intraocular multifocal.

5. Elemento difractivo multifocal y método de fabricación que, de acuerdo con la reivindicación 1, se **caracterice** por la utilización de un perfil de fase descrito por una combinación de funciones seno y/o coseno.

6. Elemento difractivo multifocal y método de fabricación que, de acuerdo con la reivindicación 1, se **caracterice** por obtener un perfil cosenoidal utilizando un sistema catóptrico.

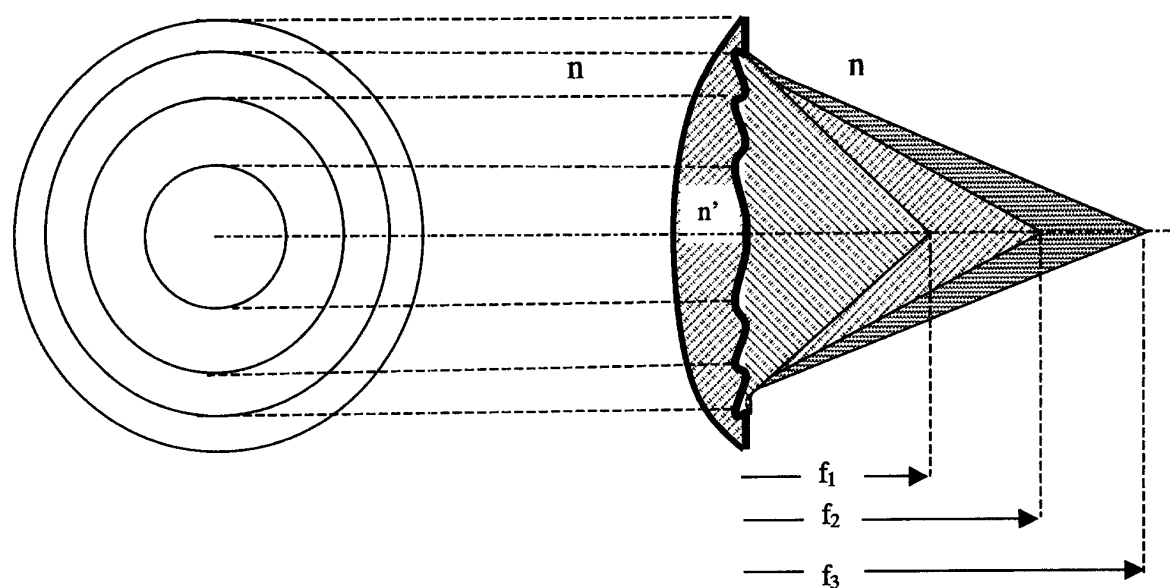


FIGURA 1

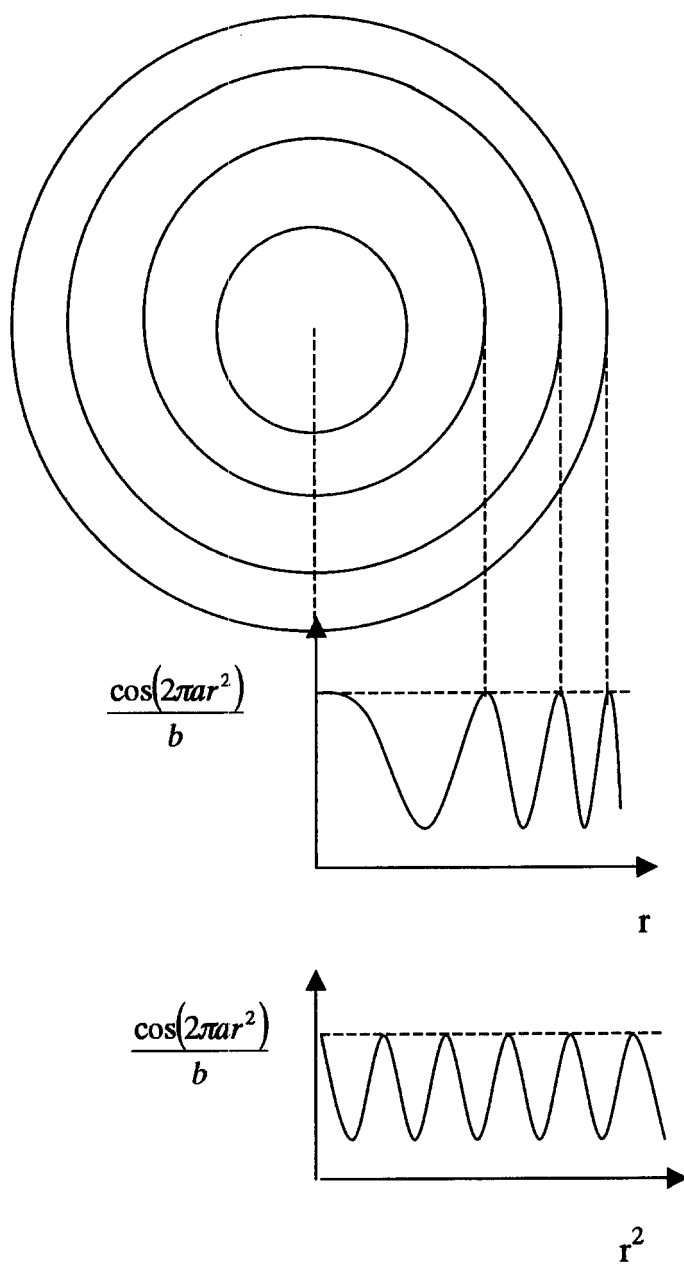


FIGURA 2

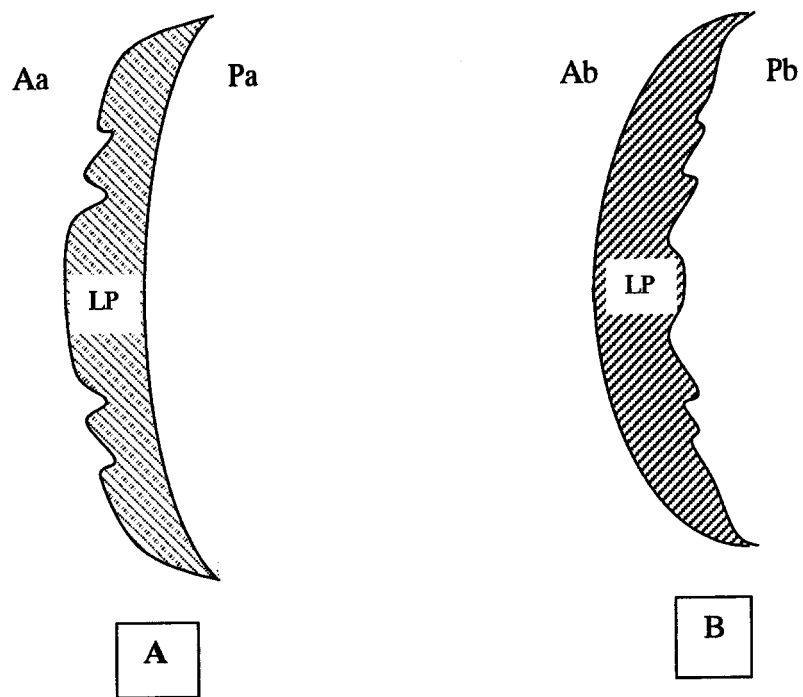


FIGURA 3

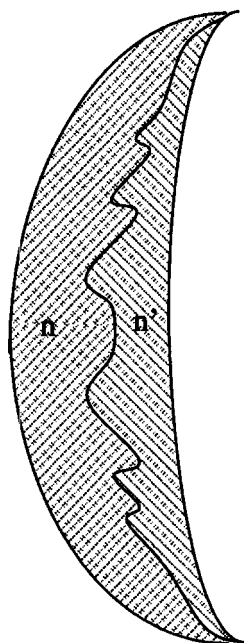


FIGURA 4

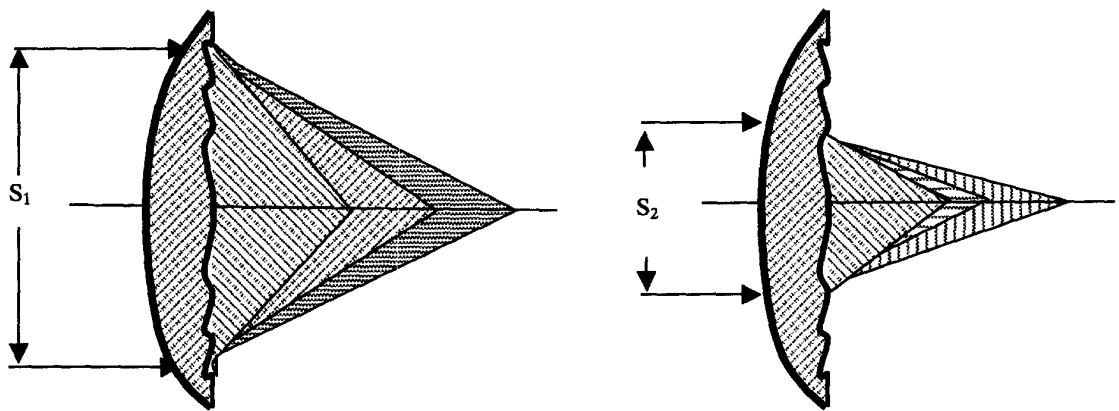


FIGURA 5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 208 077

⑫ Nº de solicitud: 200201088

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 13.05.2002

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.7: G02B 5/18, G02C 7/02

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 5114220 A (BAUDE et al.) 19.05.1992, todo el documento.	1-4
A	US 4995715 A (COHEN) 26.02.1991, todo el documento.	1-4
A	EP 470811 A (MINNESOTA MINING AND MANUFACTURING CO.) 12.02.1992	1-4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

21.04.2004

Examinador

A. Navarro Farell

Página

1/1